

La dynamique de Nicolo Tartaglia

Par ALEXANDER KOYRÉ

Dans l'histoire de la dynamique Tartaglia occupe une place assez importante. Encore faut-il remarquer que ce sont les idées foncièrement traditionalistes de la *Nova Scientia*¹ et non celles, beaucoup plus avancées, des *Quesiti et Inventioni Diversi*² qui ont eu le plus d'influence sur ses contemporains.

La science nouvelle qu'annonce le petit livre de Tartaglia est la science de la balistique. Or, s'il exagère, sans doute, en s'en prétendant l'inventeur – en effet, Léonard de Vinci s'en est préoccupé bien avant lui – il n'en reste pas moins vrai qu'il a été le premier à avoir traité de cette „science“ dans un livre imprimé; le premier, aussi, à avoir soumis à un traitement mathématique, c'est-à-dire, géométrique, quelque chose qui, jusqu'alors, ne fut qu'un „art“ purement et simplement empirique. Par là même, la *Nova Scientia* marque une date; et les mérites de Tartaglia restent très grands quoique les théories qu'il y expose soient tout à fait fausses: les sciences, généralement parlant, débutent toujours par des théories fausses. Mais la possession d'une théorie, même fausse, constitue un progrès énorme par rapport à l'état préthéorique.

Les bases de la dynamique de la *Nova Scientia* sont presque purement traditionnelles. Mais sa présentation ne l'est pas. Tartaglia, en effet, semble vouloir éviter toute discussion philosophique au sujet des concepts qu'il emploie – mouvement naturel et violent, etc. – ainsi que toute discussion concernant les causes des phénomènes qu'il est en train d'étudier. Aussi ne pose-t-il jamais la question: *a quo moventur projecta?* et ne mentionne-t-il pas l'existence de théories concurrentes – celle d'Aristote et celle de l'*impetus* – qui expliquent de manières différentes l'action du moteur sur le mobile dans le cas du mouvement violent, ou l'accélération spontanée des corps graves dans celui du mouvement naturel. Il procède *modo geometrico* en commençant par donner une série de définitions, que suivent des suppositions (axiomes) et des sentences communes dont, finalement, il déduit les propositions de la science nouvelle. Il en résulte un certain caractère fruste de l'ouvrage. Mais il est certainement voulu par Tartaglia qui, sans doute, se veut empiriste – les canons sont des faits, les boulets volent et tombent – et qui s'adresse au praticien et non pas au philosophe. Ce sont justement des données empiriques, et des concepts empiriques – du moins à ce qu'il croit – qu'il veut soumettre à un traitement mathématique (géométrique) sans passer par une théorie explicative qui en formerait le lien. C'est en cela que consiste l'intérêt de la tentative. Et l'échec de son positivisme avant la lettre nous

¹ *Nova Scientia inventa da Nicolo Tartalea*, B. Venise 1537.

² *Quesiti et inventioni diverse da Nicolo Tartalea Brisciano*, Venise 1546.

montre bien la difficulté de son entreprise. Et le danger que, pour une science naissante, comporte une confiance exagérée dans l'empirie.

La Science nouvelle de Tartaglia n'est pas un traité de motu; elle n'étudie pas tous les mouvements possibles des corps donnés dans la réalité concrète; elle ne s'occupe pas des corps „légers“; elle fait abstraction de certaines conditions réelles du mouvement, notamment, de l'existence et de la résistance du milieu; elle ne s'occupe que du mouvement des corps „également graves“, c'est-à-dire tels que „par suite de la gravité de leur matière et par suite de leur forme [ils] ne sont pas susceptibles d'éprouver une opposition sensible de l'air à leur mouvement“ (*l. I, def. I*), ce qui veut dire, pratiquement, des corps sphériques en plomb, en fer, en pierre ou en une autre matière semblable en gravité (p. B^v); autrement dit: des boulets.

Cette définition du „corps également grave“ est suivie par les définitions de l'instant: „ce qui n'a pas de parties“ (*def. III*); du temps: „mesure du mouvement et du repos“ (*def. IV*); du mouvement: „transmutation (transfert) qu'un corps fait d'un lieu dans un autre lieu, les termes de ce transfert étant des instants“. A cette définition Tartaglia ajoute la remarque que certains savants distinguent six sortes de mouvement, bien qu'Aristote n'en connaisse que trois; quant à lui, Tartaglia, il ne s'occupe que du mouvement local; d'où sa définition.

Le mouvement local des corps également graves peut être soit un mouvement naturel c'est-à-dire (*def. VI*) „celui qu'ils font, sans violence aucune, d'un lieu supérieur à un lieu inférieur“; soit un mouvement violent (*def. VII*), à savoir, celui qu'ils font, en y étant forcés, de bas en haut, de haut en bas, de ça de là, en vertu (cause) de quelque puissance mouvante“. Ainsi, pour Tartaglia, comme pour la tradition aristotélicienne, et c'est là quelque chose d'important, comme nous le verrons tout à l'heure, le mouvement descendant d'un corps également grave est son seul et unique mouvement naturel; tous les autres, celui d'un corps projeté vers le bas comme celui d'un corps se déplaçant horizontalement, sont tout aussi violents que le mouvement vers le haut.

Quant à la puissance mouvante dont il vient d'être question, elle est définie par Tartaglia (*def. XIII*) comme „n'importe quelle machine artificielle qui soit capable de lancer ou de tirer violemment par l'air un corps également grave“.

La supposition première nous dit que si un corps en mouvement produit un effet (un choc) plus grand, c'est qu'il va plus vite; la sentence commune I ajoute qu'un corps également grave fait un effet d'autant plus grand [en heurtant] un autre corps qu'il vient de plus haut par un mouvement naturel, et la sentence commune IV, qu'un corps également grave, animé d'un mouvement violent, fera un effet d'autant plus grand sur un autre corps que celui-ci sera plus proche du point de départ (principe) de ce mouvement.

De ces suppositions et sentences communes, et cela par un raisonnement assez curieux qui se fonde sur le fait qu'un corps qui tombe de plus haut (du sommet d'une tour) heurte le sol avec une force plus grande que celui

qui tombe d'une fenêtre qui se trouve à sa mi-hauteur, et donc, va plus vite, Tartaglia déduit (*prop.* 1) que „dans le mouvement naturel tout corps également grave va d'autant plus vite qu'il s'éloigne du point de départ (principe) ou s'approche du point d'arrivée (de la fin) de son mouvement“. Cette identification de l'éloignement du point de départ avec le rapprochement au point d'arrivée, identification parfaitement naturelle et dont Benedetti sera le premier à reconnaître le caractère fallacieux, implique qu'un corps qui se dirigerait vers le centre du monde, à condition bien entendu de pouvoir s'y rendre, mettons par un canal qui traverserait la terre par un des diamètres, y arriverait avec une vitesse maximale. En effet le mouvement du grave vers le centre du monde est semblable à celui d'un voyageur qui va vers un lieu désiré: „plus il va s'approchant de ce lieu, plus il se presse et s'efforce de cheminer; comme il paraît en un pèlerin, qui vient d'un lieu lointain; plus il est proche de son pays, plus il s'efforce de cheminer de toute sa puissance et cela d'autant plus qu'il vient d'un pays plus lointain; ainsi fait le corps grave; il se hâte de même vers son propre nid, qui est le centre du monde et plus il vient d'un endroit éloigné plus il va vite en s'approchant de lui“.

Mais que fera le grave lorsqu'il aura atteint son „nid“? S'y arrêtera-t-il comme le pèlerin rentré dans son pays? Ou continuera-t-il sa course? Dans la première édition de la *Nova Scientia* Tartaglia ne nous le dit pas. Mais la seconde édition (1550) prend résolument parti contre la possibilité de l'arrêt: „Nous venons de rappeler, écrit Tartaglia, que l'opinion d'un grand nombre de philosophes était que s'il existait un canal, percé d'outre en outre à travers la terre et passant par son centre, dans lequel pourrait se mouvoir un corps uniformément grave, de la manière que l'on a expliquée ci-dessus, ce corps s'arrêterait tout d'un coup en arrivant au centre du monde. Mais cette opinion, suivant moi, n'est pas exacte³. Bien loin de s'arrêter tout d'un coup en arrivant au centre, le mobile, animé qu'il était d'une grande vitesse, dépasserait ce point, comme lancé d'un mouvement violent, et se dirigerait vers le ciel de l'hémisphère opposé au notre, pour revenir ensuite vers le même centre, le dépasser de nouveau quand il y serait arrivé, en vertu d'un mouvement violent qui, cette fois-ci, le porterait vers nous; de là il recommencerait encore à se mouvoir d'un mouvement naturel vers le même centre etc., etc., en diminuant graduellement de vitesse jusqu'à ce qu'enfin il s'arrêterait en effet au centre de la terre.“

La structure générale du mouvement des graves étant désormais fixée, Tartaglia nous présente deux corollaires assez importants, à savoir, (a) que le corps grave va le plus lentement au début de son mouvement et le plus vite à la fin; (b) que sa vitesse varie constamment, c'est-à-dire, qu'elle ne peut être la même à deux instants divers du parcours.

C'est seulement maintenant, dans la *prop.* II, que Tartaglia établit que „tous les corps également graves semblables et égaux, partent du principe de

³ Tartaglia pouvait, et même devrait, dire: selon d'autres philosophes, car l'opinion qu'il soutient est celle de tous les partisans de la dynamique de l'impetus.

leur mouvement naturel avec une vitesse égale⁴, mais augmentent leurs vitesses de façon telle que celui traversera un espace plus grand ira plus vite“.

La vitesse du mouvement de descente – Tartaglia ne dit pas expressément qu'elle lui soit proportionnelle – augmente donc en fonction de l'espace parcouru.

Les propriétés du mouvement violent sont rigoureusement contraires de celles du mouvement naturel. Ainsi (*prop.* III) „Plus un corps également grave s'éloigne du principe ou s'approche de la fin du mouvement violent, plus il va lentement.“ D'où ce corollaire très important, en vertu duquel Tartaglia rejette la croyance commune à l'accélération initiale du projectile, rejet fondé, en outre, sur la négation de l'accroissement de la puissance du choc avec l'éloignement du dit projectile de son point de lancement: „De là il est manifeste qu'un corps également grave a, au commencement de son mouvement violent, la vitesse la plus grande et, à la fin, la plus petite qu'à aucun autre endroit de sa course; et que, plus grand est l'espace qu'il a à parcourir, plus il ira vite au principe de son mouvement“ (*cor.* I).

Pas plus que le corps en mouvement naturel, celui qui se meut d'un mouvement violent ne peut avoir une même vitesse à deux instants différents de sa course (*cor.* 2); d'autre part (la situation ici est strictement inverse de celle du mouvement naturel) tous les corps également graves semblables et égaux iront à la fin de leur mouvement avec une vitesse égale, quelle qu'ait été celle qu'ils avaient au commencement⁵.

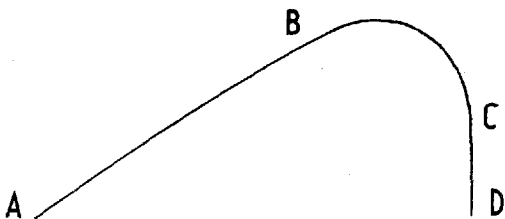
Venons en maintenant au problème général de la forme de la trajectoire décrite par un corps également grave dans son mouvement violent. Sa solution est d'autant plus difficile pour Tartaglia que, non seulement il accepte la thèse commune de l'incompatibilité des mouvements naturels et violents, mais qu'il lui attribue une valeur absolue, en d'autres termes, qu'il nie résolument la possibilité du mouvement „mixte“ sur lequel Nicolas de Cues et Léonard de Vinci avaient si fortement insisté. Aussi nous dit-il dans la proposition V:

„Aucun corps également grave ne peut pendant aucun espace de temps ni de lieu marcher d'un mouvement composé (mixte) à la fois de mouvement violent et de mouvement naturel.“ En effet, s'il le faisait, il devrait se mouvoir en augmentant continuellement sa vitesse et, en même temps, en la diminuant non moins continuellement. Ce qui, de toute évidence, est impossible.

De cette impossibilité devrait, semble-t-il, résulter une trajectoire angulaire. Tartaglia, toutefois, évite cette conclusion grâce à sa conception du mouvement violent, et affirme que cette trajectoire sera tout d'abord une ligne droite, puis une courbe (segment de cercle), puis, de nouveau une droite.

⁴ Tartaglia évite le problème difficile de la détermination de cette vitesse.

⁵ Par plus que dans le cas du commencement du mouvement naturel Tartaglia ne nous dit quelle sera cette vitesse terminale du mouvement violent.



Le mouvement du boulet rest violent jusqu'au moment où il commence sa descente verticale, c'est à dire, jusqu'au point C⁶. Aussi est-ce là, et non au sommet de la courbe que se trouve le point de vitesse minima.

La solution de Tartaglia laisse, toutefois, ouvert le problème de l'incurvation du trajet du boulet. Pourquoi, en effet, le fait-il? Sous l'influence de la pesanteur? Mais alors il faudrait admettre qu'elle s'exerce pendant toute la durée du parcours.

Tartaglia, au fond, le sait bien. Aussi ajoute-t-il à la supposition II du livre II de son ouvrage (supposition qui nous dit justement que toute trajectoire d'un corps grave lancé obliquement sera composé d'une partie rectiligne d'abord, puis d'une partie curviligne (circulaire) à laquelle va se joindre la verticale de la chute), une remarque, qui corrige l'énoncé précédé. En effet, à parler strictement, la trajectoire en question ne peut pas posséder de partie parfaitement rectiligne; à cause de la pesanteur qui, continuellement, tire le corps grave vers le centre du monde, elle sera entièrement incurvée. Tartaglia estime toutefois qu'elle le sera si peu que sa déviation sera parfaitement imperceptible à nos sens et que nous pouvons ne pas en tenir compte. Nous pouvons donc supposer qu'elle sera vraiment droite, et que la partie visiblement courbe sera vraiment circulaire.

Tartaglia affirme dans la préface de son livre – épître dédicatoire à Francesco Maria dalla Rovere, Duc d'Urbino, Préfet de Rome et Capitaine Général du Sénat de Venise – qu'il a élaboré une théorie permettant de calculer, à partir d'une portée donnée, c'est-à-dire, établie par expérience pour un angle déterminé, la portée des coups de canons et de mortiers en fonction de leurs élévations. Il ne l'a jamais publiée; et les livres IV et V de la *Nova Scientia* ne furent jamais imprimés.

En revanche, en 1646, Tartaglia fit paraître ses *Quesiti et Inventioni Diverse*, dont les deux premiers livres contiennent une étude de la balistique, étude dans laquelle il reprend, complète, et parfois modifie les théories exposées dans la *Nova Scientia*.

Du point de vue de la dynamique la modification la plus importante et, à certains égards, décisive, consiste dans l'abandon de la simplification pratique qui permettait l'affirmer la rectilinéarité d'une partie de la trajectoire

⁶ Solution qui fait honneur au courage intellectuel de Tartaglia.

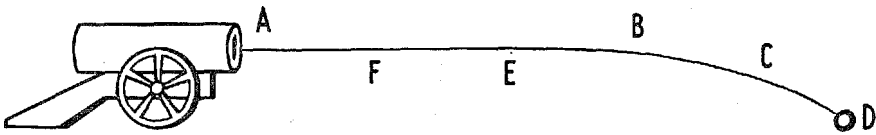
du projectile; en conséquence Tartaglia rejette la croyance vénérable à l'existence d'un mouvement violent en ligne droite – à moins que celui-ci ne soit dirigé directement vers le ciel, ou, au contraire, vers le centre du monde. La trajectoire d'une balle d'arquebuse ou d'un boulet de canon ne comporte pas de partie rectiligne; ni lorsque le coup est dirigé (obliquement) vers le haut ou le bas; ni lorsque sa direction est horizontale: la trajectoire est toujours tout entière en ligne courbe, et le boulet de canon commence à s'abaisser dès le premier instant de sa projection⁷. Tartaglia ajoute que s'il n'avait pas soutenu cette théorie dans sa *Nova Scientia*, c'est qu'il voulait être compris par les vulgaires. Cela se peut. Il se peut aussi – c'est ce que je crois – que les conceptions ont, entre temps, évolué.

La théorie selon laquelle la trajectoire d'un boulet de canon est entièrement courbe est parfaitement inouïe, et semble être tout à fait contraire à l'expérience. Aussi l'interlocuteur de Tartaglia – les *Quesiti* sont écrites sous forme de dialogues-discussions – en l'occurrence le Duc Francesco Maria d'Urbino, proteste-t-il violemment. Il veut bien admettre, cela va de soi, que les mouvements vers le haut et le bas soient rectilignes. Mais que dans aucune autre direction, et sur aucune longueur de la trajectoire, le projectile ne se meuve en ligne droite, c'est là quelque chose qui n'est pas croyable, et qu'il ne croit pas, d'autant plus que des expériences faites à Verone avec une coulevrine de 20 livres lui ont bien montré qu'à la distance de 200 pas le boulet se plaçait dans le point de mire, ce qui veut dire qu'il volait en ligne droite. Que si la dite coulevrine était élevée pour tirer à une distance plus grande, la trajectoire ne serait pas entièrement en ligne droite, c'est très probable, et le Duc veut bien le concéder. Mais on ne peut conclure de là qu'elle soit incapable de lancer un boulet en ligne droite à une distance de 200 pas, ou de 100, ou seulement de 50. A quoi Tartaglia retorque que non seulement le boulet ne parcourra pas 50 pas en ligne droite, mais qu'il n'en parcourra même pas un seul. La croyance contraire est due à la faiblesse de l'intellect humain qui a du mal à distinguer le vrai du faux. Aussi Tartaglia demande-t-il à Son Excellence, qui croit que la balle fera une partie de sa course en ligne droite, et le restant, en ligne courbe, pour quelle raison et cause propre cette balle ira ainsi en ligne droite, en quelle partie de sa trajectoire, et jusqu'où, ira-t-elle de la sorte et, de même, quelle est la cause pour laquelle elle ira ensuite en ligne courbe, en quelle partie de son trajectoire, et à partir de quel point le fera-t-elle? – Le Duc répond que c'est la grande vitesse de la balle, dont elle est animée à sa sortie de la bouche de la pièce, qui est la cause propre pour laquelle, durant peu de temps, ou d'espace, elle ira en ligne droite; mais que plus tard, manquant à quelque degré de vigueur et de vitesse, elle commencera à se ralentir et à s'abaisser successivement vers la terre et continuera ainsi jusqu'à ce qu'elle y tombe.

Réponse admirable, confirme Tartaglia; en effet, c'est la vitesse de la balle

⁷ C'est pour la première fois dans l'histoire de la dynamique que la rectilinéarité du mouvement violent se trouve niée.

qui s'oppose à l'incurvation de la trajectoire dont la déclinaison augmente avec son ralentissement, car un corps mû de mouvement violent devient l'autant moins lourd qu'il va plus vite. Et, par conséquent, plus droitement il va à travers l'air qui le soutient d'autant plus facilement qu'il est plus léger. Inversement, moins il va vite, plus il devient lourd, et plus fortement donc il est, par cette gravité, tiré vers la terre. Cet allègement du corps grave en fonction de sa vitesse n'empêche pas toutefois que, dans les effets produits, c'est-à-dire dans la percussion, le corps en question agit avec toute sa gravité naturelle, augmentée encore en raison de sa vitesse et, de ce fait, agit avec d'autant plus de force qu'il va plus vite, et inversement. Le Duc est d'accord – mais Tartaglia poursuit: „Supposons donc que tout le chemin, ou toute la trajectoire (transit) que doit faire, ou qu'a fait, le boulet tiré per la dite coulevrine soit [représentée] par la ligne *abcd* tout entière; s'il est possible que dans une quelconque de ses parties elle soit parfaitement droite, nous posons que telle sera la partie *ab*; que celle ci soit divisée en deux parties égales en *e*; la balle, alors, traversera plus rapidement l'espace *ae* (selon la proposition II du livre I de notre *Nova Scientia*) que l'espace *eb*. Or donc, pour des raisons susexpliquées, la balle ira plus droitement par l'espace *ae* que par l'espace *eb*, ce pourquoi la ligne *ae* sera plus droite que la ligne *eb*, ce qui est une chose impossible, parce que si toute la ligne *ab* est supposée être parfaitement droite, une moitié d'icelle ne peut être ni plus ni moins droite que l'autre moitié, et si une moitié était plus droite que l'autre, il s'ensuivrait nécessairement que cette autre moitié n'était pas droite, et par conséquent que la ligne *ab* n'était pas droite.“ La même raisonnement s'appliquant à la partie



ae – on la divise en deux en *f* – il s'ensuit qu'aucune partie de la trajectoire ne peut être droite, si minime soit elle, et qu'elle est courbe tout entière. Le Duc, cependant, n'est pas convaincu. Aussi, au raisonnement mathématique de Tartaglia, oppose-t-il le témoignage irréfragable de l'expérience: les balles arrivent directement dans le point de mire, ce qui ne pourrait se faire si elles n'allaient pas en ligne droite.

Argument fallacieux, répond Tartaglia. Il est vrai que nous croyons voir la balle aller directement dans le point visé: or, c'est une illusion. La balle ne va pas en ligne droite, pas plus qu'elle ne s'élève sur l'horizon [lorsque le canon est pointé horizontalement] – tout cela est impossible. Mais nos sens ne sont pas assez aigus et précis pour distinguer la courbe très tendue du début de la trajectoire d'une ligne droite; ainsi une mer calme nous paraît être parfaitement plane tandis qu'en réalité sa surface est celle d'une sphère.

Le problème de la trajectoire rectiligne ou courbe est repris par Tartaglia dans une série de dialogues avec le chevalier de Rhode, Prieur de Barletta, Gabriel Tadino di Martinengo (ques. VI, VII, VIII, IX et X). Tartaglia répète les arguments qu'il a présentés au duc d'Urbino et y ajoute une explication supplémentaire – et très raisonnable – de l'erreur des canoniers qui, tous, croient à la „droiture“ du coup tiré de but en blanc, à savoir le fait que la ligne de visée et l'axe du canon non seulement ne sont pas identiques, mais même ne sont presque jamais parallèles. Aussi, s'il arrive – comme il arrive effectivement – que la balle touche le but visé, ce n'est pas parce que celle-ci va en ligne droite, en suivent la ligne de visée, ou une ligne parallèle à celle-ci; c'est parce que la ligne de visée et la trajectoire – courbe – de la balle se croisent et de ce fait possèdent un, ou même deux, points communs.

Tartaglia va donc défendre, avec acharnement et obstination, la vérité théorique (géométrique) contre les prétentions de l'expérience – pseudo-expérience – du sens commun et des canoniers que, maintes et maintes fois, invoque le Prieur de Barletta. Il est évident, toutefois, qu'il ne s'agit aucunement de rejeter, en bloc, le témoignage des bombardiers; ni, encore moins, les faits que leur expérience a permis d'établir et qu'elle a rendu indubitables et certains. Ainsi, par exemple, il est certain que si, d'un seul et même canon, on tire, l'un après l'autre, deux coups – l'élévation et le charge étant identiques – le second portera plus loin que le premier; comme il est certain que, pour frapper une muraille avec la force maxima, il faut se mettre à une certaine distance de celle-ci, ni trop près, ni trop loin.

Un théoricien de la trempe d'un Galilée aurait répondu en niant le fait. Mais les Galilées sont rares dans l'histoire. Tartaglia, donc – comme avant lui Dulaert de Gand et Louis Coronel et après lui Cardan et Benedetti – se borne à expliquer que l'augmentation de la puissance du choc est parfaitement compatible avec la diminution de la vitesse du projectile dont la Nova Scientia avait donné la démonstration. L'explication, bien entendu, est absurde. Mais n'en blâmons pas Tartaglia. Ainsi que je l'ai dit, il ne pouvait pas, partout, être en désaccord avec les praticiens. Aussi a-t-il été leur victime.

On le voit bien: le double effort de Tartaglia essayant d'asseoir la théorie balistique directement sur l'expérience et, en même temps, de rejeter les prétentions de l'„expérience“ confuse de la vie cotidienne et de la pratique technique, n'a pas abouti; et ne pouvait pas aboutir. Il était et prématuré, et trop peu radical. Aussi n'eut-il pas beaucoup d'influence sur ses contemporains: surtout en ce qu'il avait de plus précieux. Car, si la théorie de la trajectoire tripartite exposée dans la Nova Scientia, eut beaucoup de succès au XVI^e siècle, et même plus tard, celle de la trajectoire entièrement curviligne, exposée dans les *Questi*, n'en eut aucun. Personne, pas même les mathématiciens, tels que Cardan ou Bernardino Baldi, qui, pourtant, auraient dû en être séduits, pas même Jean Baptiste Benedetti qui oppose à la tradition les fondements solides de la philosophie mathématique ne l'ont ni adoptée, ni même

discutée: Benedetti, en effet, critique certaines des opinions de Tartaglia, émises par celui-ci dans les *Quesiti*, mais ne se réfère jamais à la théorie générale qui y est exposée. Le cas de Benedetti n'est pas particulièrement caractéristique – il ne s'intéresse pas à la balistique, et s'il traite de la théorie du jet, point d'attaque traditionnel des adversaires d'Aristote, il n'essaye pas de déterminer la trajectoire décrite par le projectile; ceux de Cardan, de Baldi, de quelques autres, le sont bien davantage: ils nous montrent la puissance de la tradition empirico-technicienne – car c'est elle, et non l'influence de Léonard de Vinci, ainsi que l'a voulu Duhem, que nous retrouvons chez eux – ils nous révèlent également celle des obstacles qu'a dû surmonter la pensée de Galilée.